

# Laserbasierte Ortung von Weltraumschrott

Wolfgang Riede, Daniel Hampf, Paul Wagner, Adolf Giesen  
Institut für Technische Physik

4. Forum WELTRAUM

9.-10. September 2014  
Stadthalle Bonn / Bad-Godesberg



Wissen für Morgen



# Inhalt

## 1. Einleitung / Motivation



© ESA

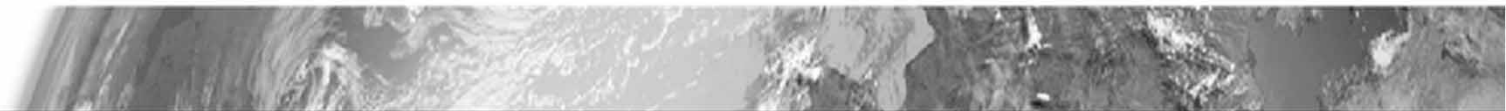
## 2. Optische Detektionsverfahren



## 3. DLR Forschungsobservatorium Uhlandshöhe



## 4. Zusammenfassung Ausblick

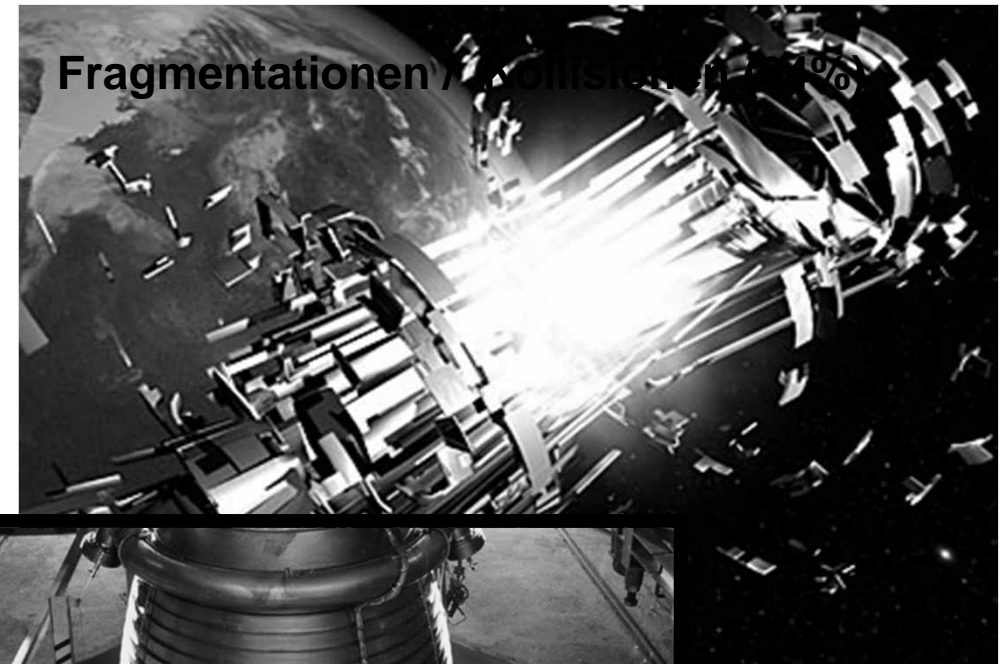


# Quellen für Weltraumschrott / katalogisierte Objekte

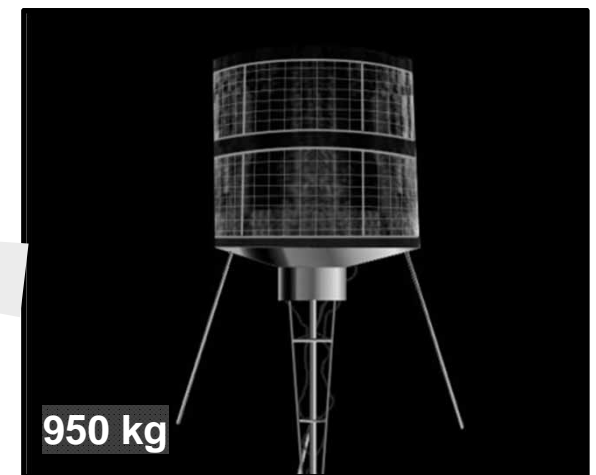
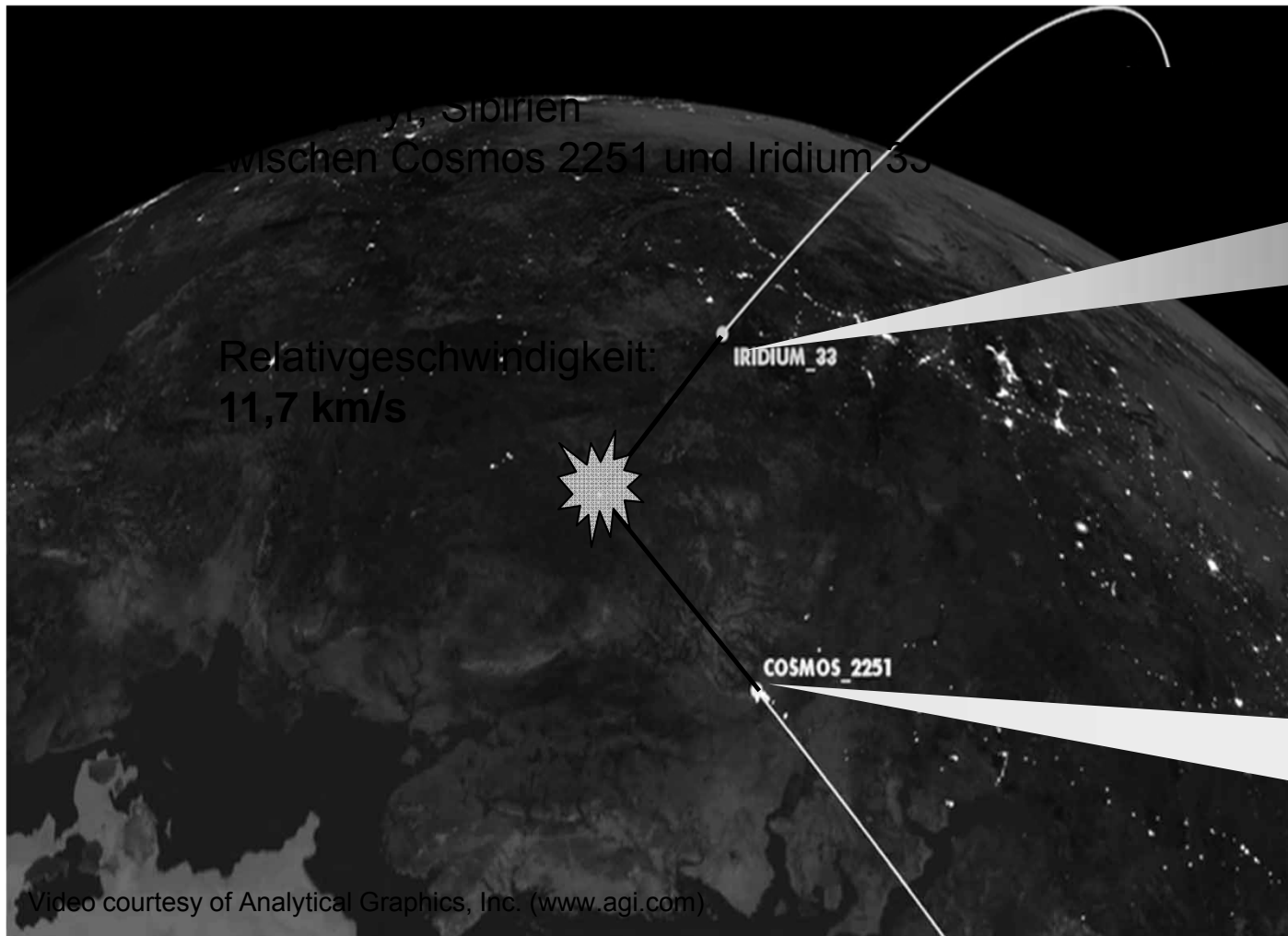
## US STRATCOM Katalog:

ca. 16.000 Objekte (öffentlich)

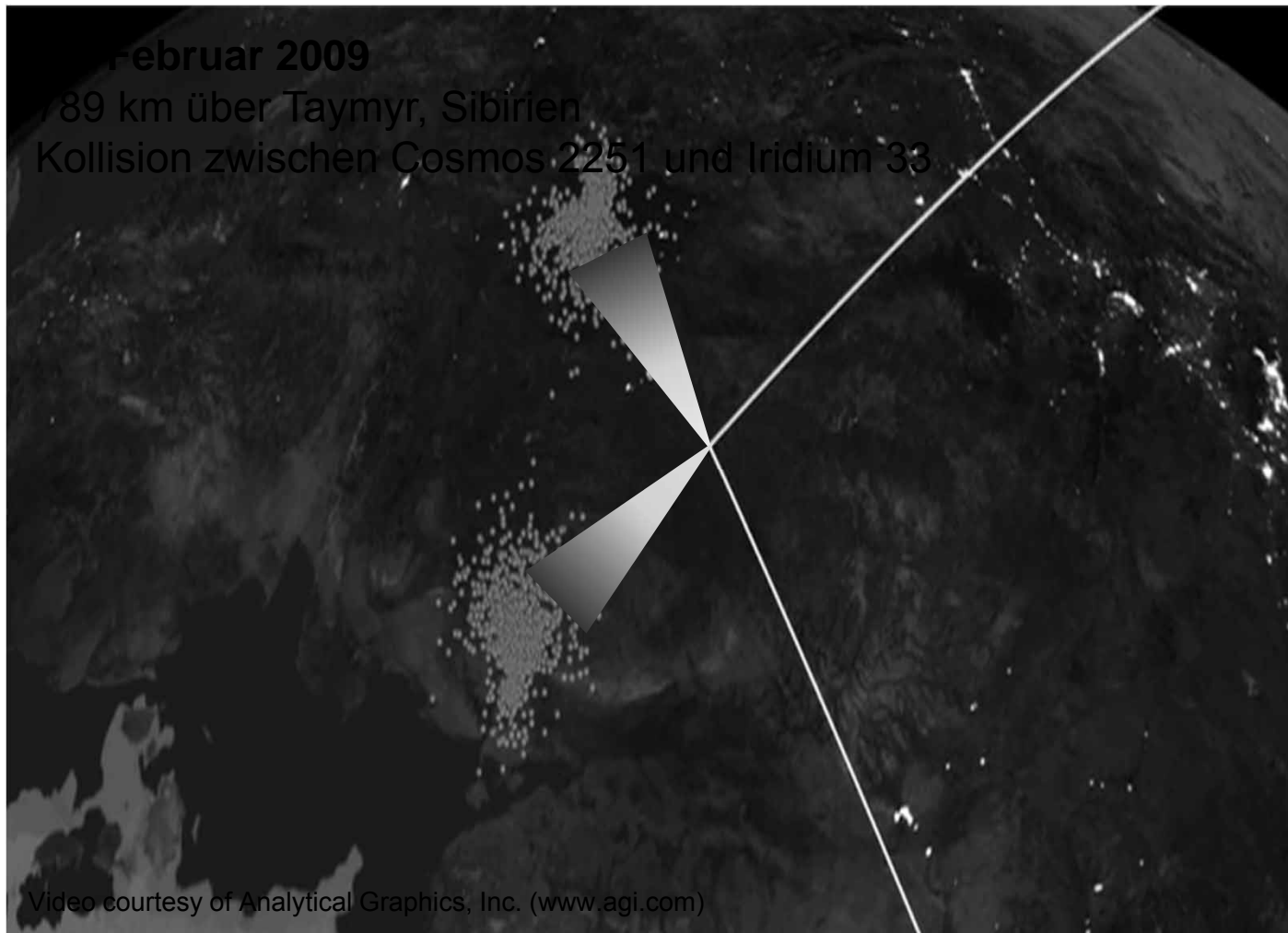
ca. 28.000 Objekte (tatsächlich)



# Kollisionen zwischen Satelliten



# Kollisionen zwischen Satelliten



Sprengkraft von

**20 t Dynamit**

---

469 Iridium-Trümmer

1301 Kosmos-Trümmer

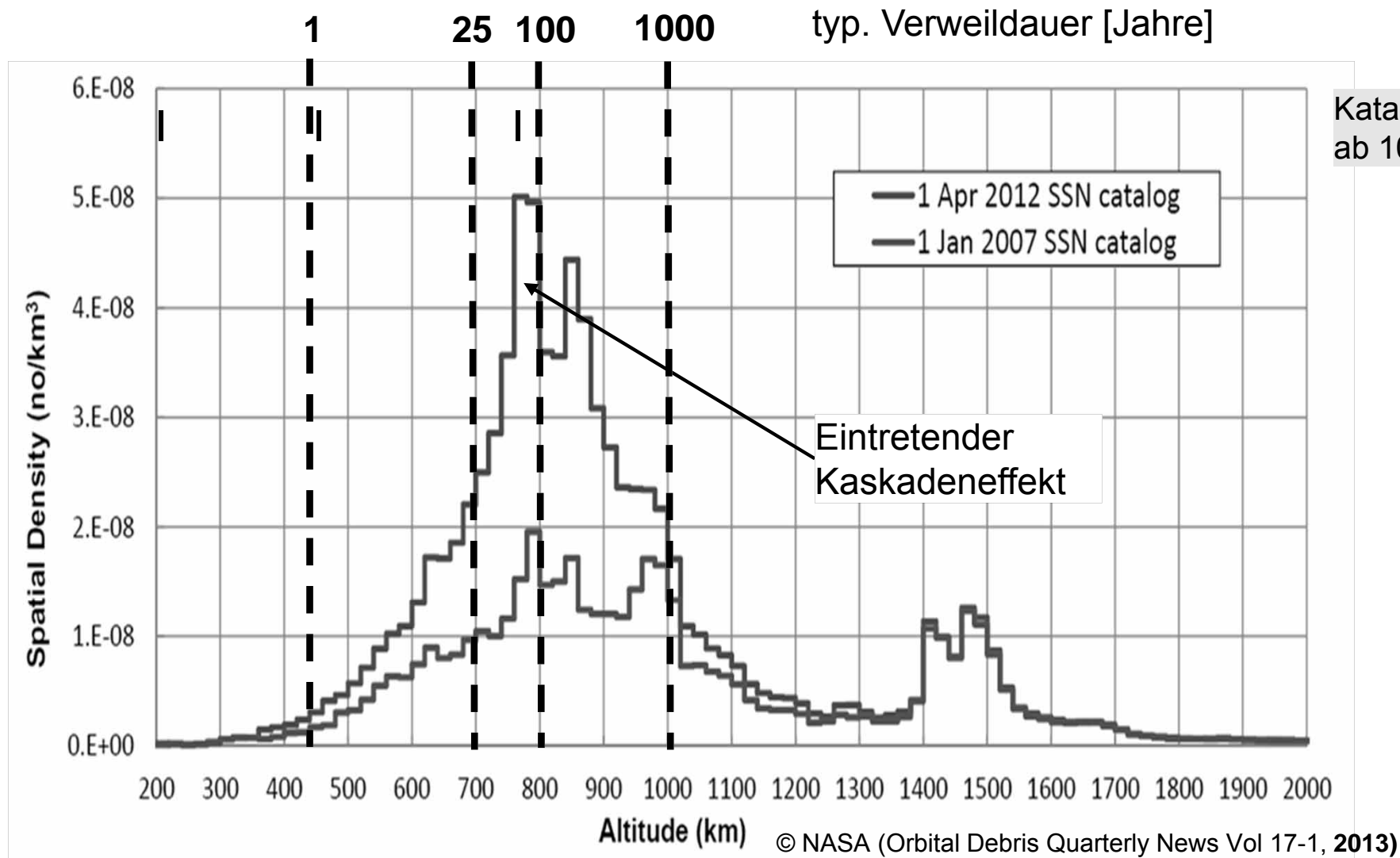
---

Abweichung laut Bahnprognose:

**584 m**

kein(!) Ausweichmanöver

# Verteilung der (Weltraumschrott)-Objekte



# Detektionsverfahren

1. Radarbasierte Ortung von Objekten in niedrigen Umlaufbahnen (LEO...)
2. Passiv-optische Ortung von Objekten in hohen Umlaufbahnen (GEO..)
3. **Passiv-optische / laserbasierte Ortung von Objekten im niedrigen Orbit**



**Tracking- / Imaging-Radar TIRA (Wachtberg)**

**Ø = 34 m**

Detektion von Objekten > 1 cm in Bahnhöhen von 1000 km



**ESA Optische Bodenstation (OGS) (Teneriffa)**

**Ø = 1 m**

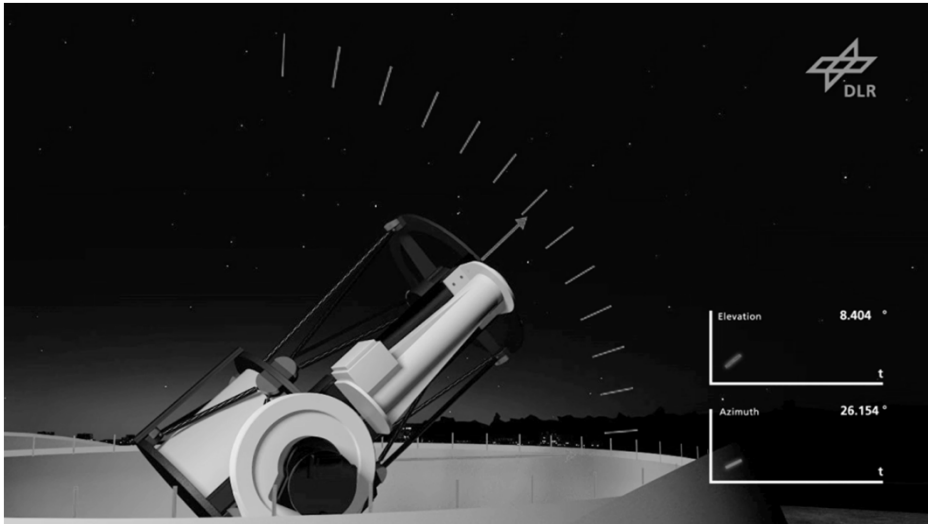


**Uhlandshöhe Forschungs-Observatorium (UFO) (Stuttgart)**

**Ø = 0,4 m**



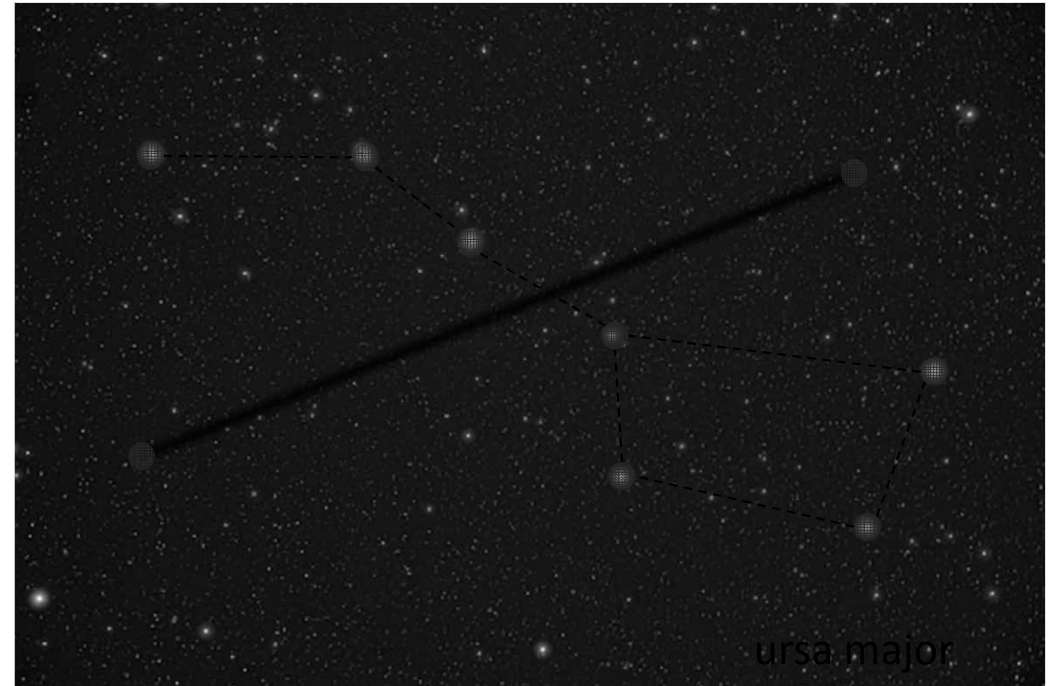
# Passiv-optische Ortung: Bestimmung der Winkeldaten



## Kontinuierliches Tracking

Auslesen der Encoderwerte für Azimuth und Elevation

Nautische Dämmerungsphase  
(Sonne  $6^\circ$  -  $12^\circ$  unter Horizont)



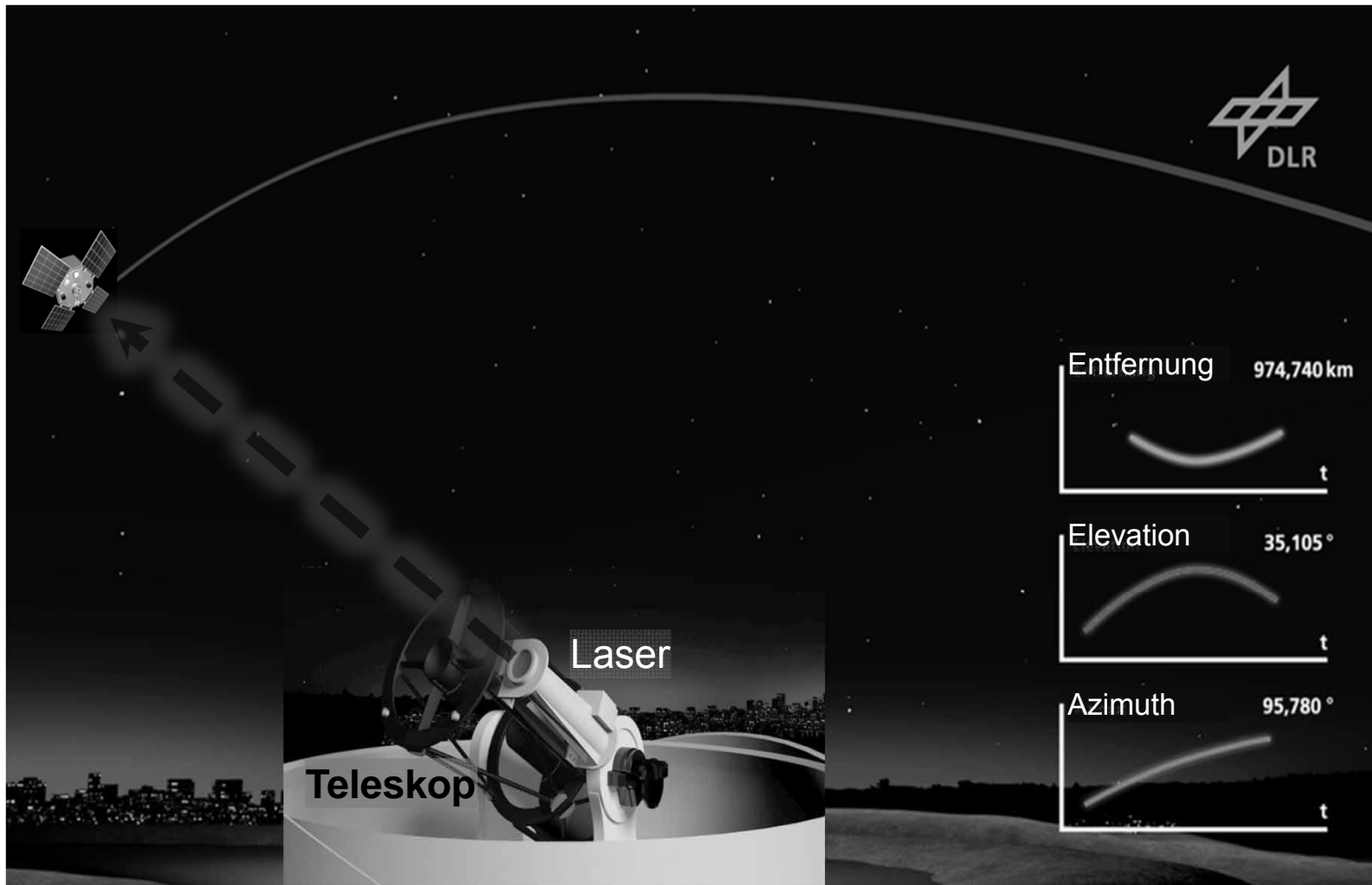
## Leap-Frog Tracking

Referenz zu Fixsternen (astrometrisches Verfahren)

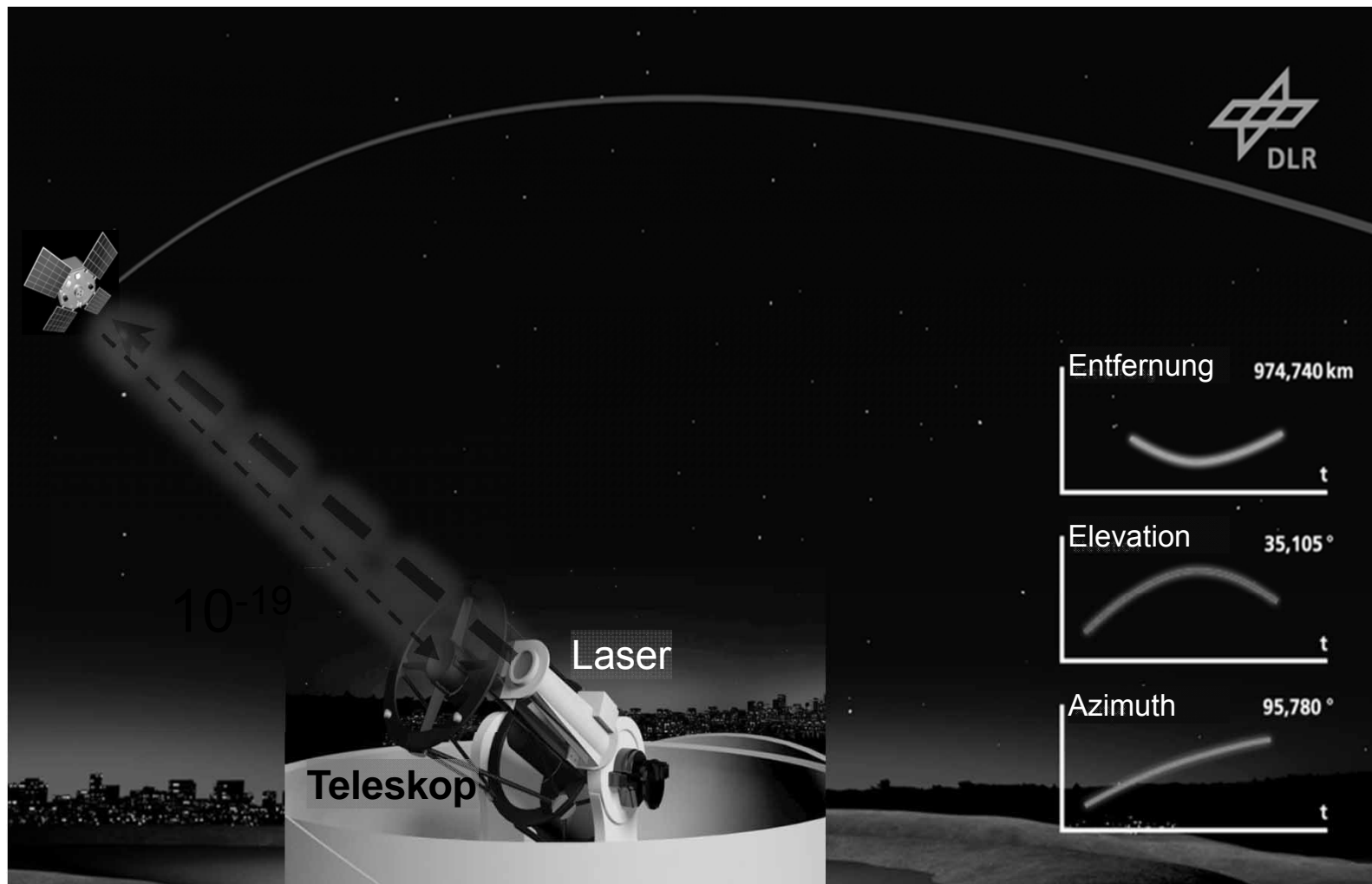
Bestimmung von Azimut und Elevation der Endpunkte der Spur



# Laserbasierte Ortung von Weltraumschrott



# Laserbasierte Ortung von Weltraumschrott



## Laserlaufzeitverfahren

Verwendung kurzer Pulse  
(~ Nanosekunden)

## 3-dimensionale Positionbestimmung

Genauigkeit wenige Meter

# Forschungsobservatorium Uhlandshöhe DLR Stuttgart

- **Testbed für Technologieentwicklung**
- Fasergekoppelter Lasertransmitter
- Einzelphotonensensorik / GPS synchronisierte Laserlaufzeitmessung
- Verschiedene Trackingverfahren
  - Automatisierte Verfolgung von Katalogobjekten
    - Leap-Frog Tracking
    - Kontinuierliches Tracking
  - Neudetektion („Stare and Chase“)
- Remotebetrieb (Steuerraum)
- Luftraumüberwachung (All Sky Kamera)
- Laser-Betriebsgenehmigung vorhanden

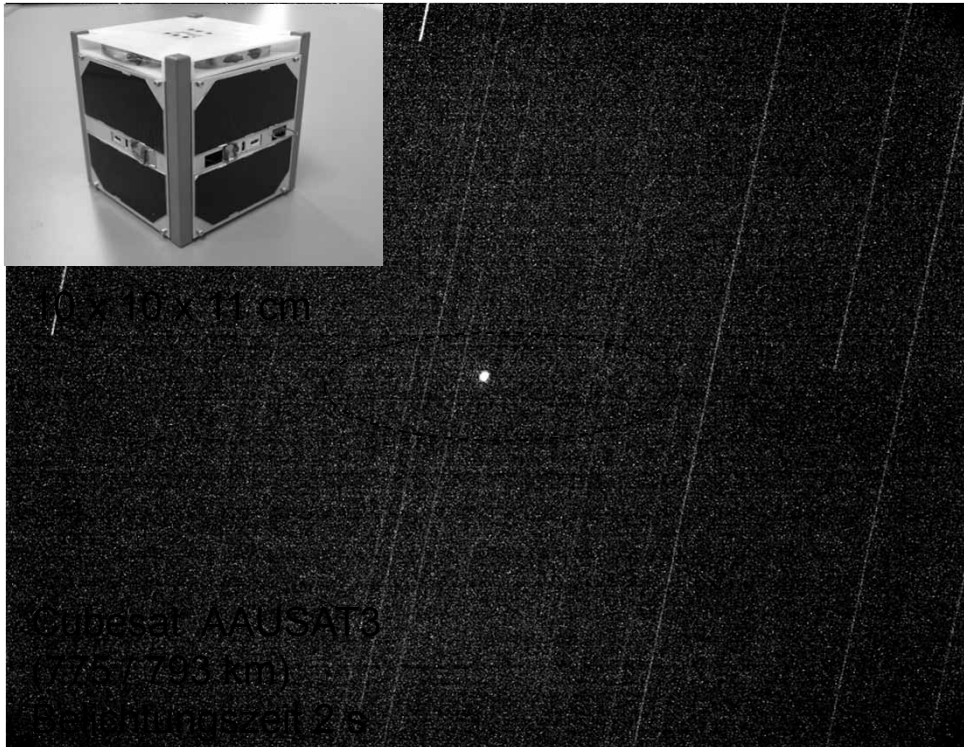


PlaneWave 17" Teleskop  
-> großes Gesichtsfeld: 0,7°

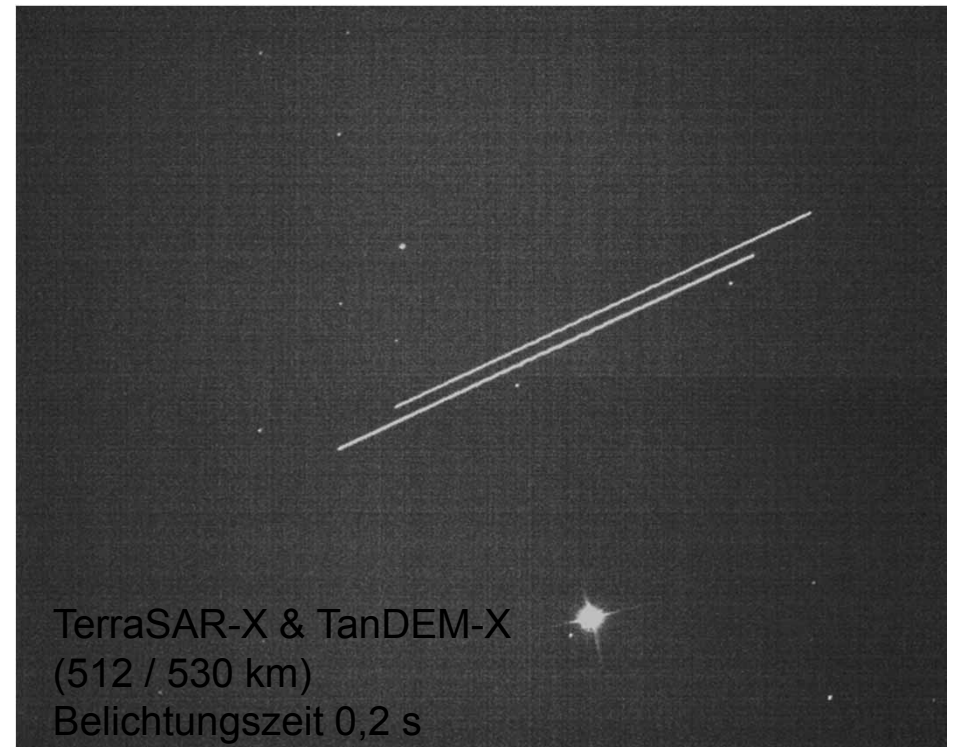
ASTELCO DirectDrive Montierung

3,6 m Schalendom

# Passiv-optisches Tracking



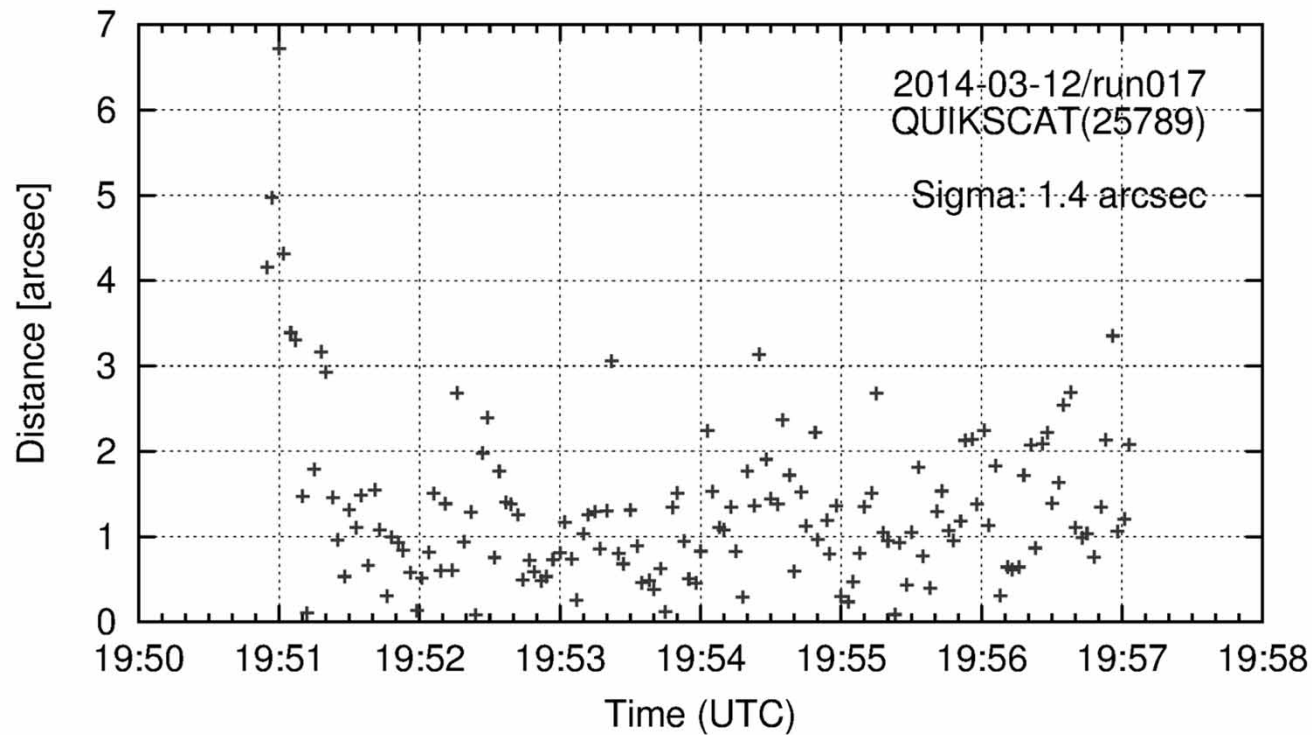
Kontinuierliches Tracking  
(Bahndaten: Two Line Elements)  
**Detektierbare Objektgröße: < 10 cm**



Leap-Frog Tracking



# Präzises Tracking orbitaler Objekte



QuikSCAT:

Bahnhöhe: 808 km  
2,2 m x 1,7 m x 1,4 m

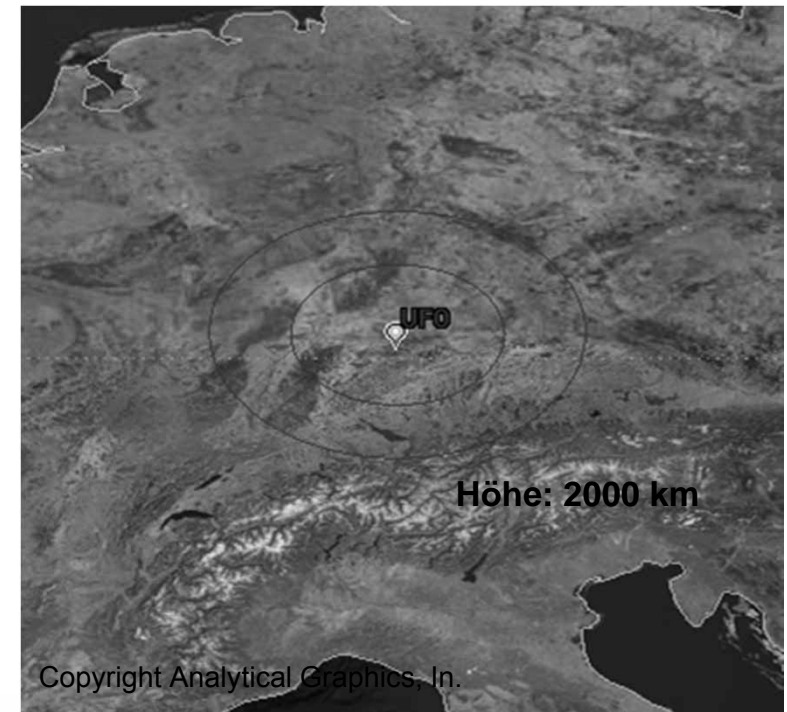
Nachführgenauigkeit: < 2 Bogensekunden



# Neudetektion von orbitalen Objekten

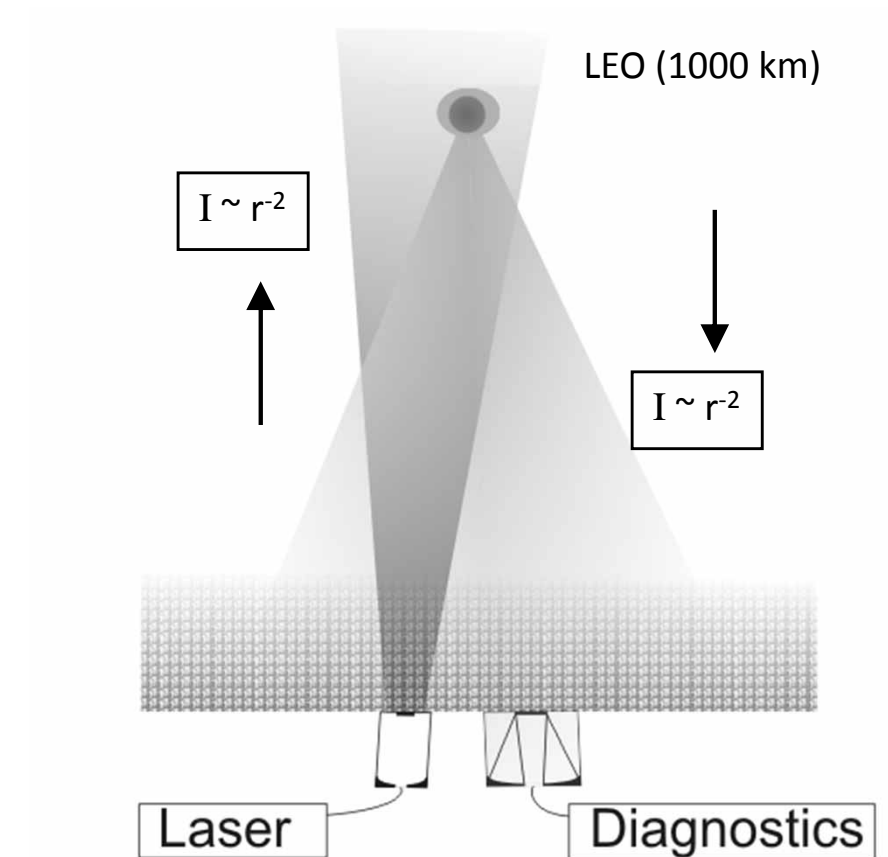


- Beobachtungsdauer: 60 Sek
- Blickrichtung: Zenith
- Canon 135 mm / FLI Kamera
- **Detektionseffizienz von Objekten**  
    **> 1 m ist höher als 50%**  
    (Esa PROOF Software)



# Photonenbilanz

- **Laser Transmitter:**
  - Strahlqualität, Strahlrichtungsstabilität
  - Pulsenergie
  - Wellenlänge
  - Repetitionsrate
  - Transmission Sendeoptik, Sendeapertur
- **Atmosphäre:**
  - Turbulenz
  - spektrale Transmission
- **Weltraumschrott Objekt:**
  - Albedo
  - Abmessungen (RCS)
  - Abstand
- **Empfänger**
  - Detektorempfindlichkeit
  - Transmission der Empfangsoptik
  - Empfangsapertur, Transmission der Empfangsoptik



# Photonenbilanz

## Fall 1:

Observatorium Uhlandshöhe

Laserleistung: 0,3 W  
1 kHz, 0,3 mJ, 1064 nm

20° Elevationswinkel  
Objektabstand: 1400 km  
Apertur: 0,43 m

**Grenzgröße Objekt: 20 m<sup>2</sup>**

## Fall 2:

Lustbühel Observatorium Graz

Laserleistung: 25 W  
1 kHz, 25 mJ, 532 nm

20° Elevationswinkel  
Objektabstand: 1400 km  
Apertur 0,75 m

**Grenzgröße Objekt: 1 m<sup>2</sup>**

## Fall 3:

**Geplante Station**

Laserleistung: 1 kW  
1 kHz, 1 J, 1064 nm

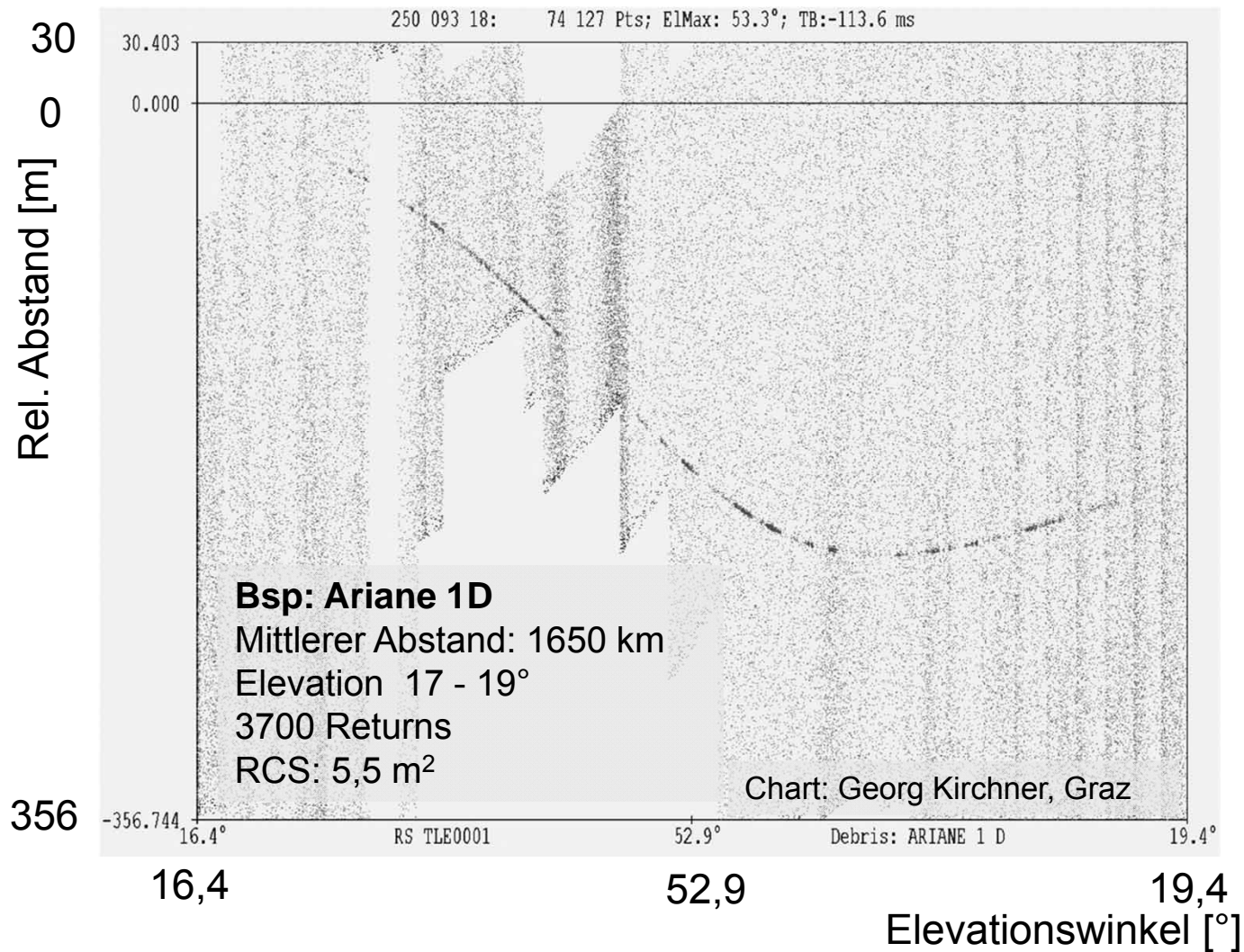
20° Elevationswinkel  
Objektabstand: 1400 km  
Apertur: 1 m

**Grenzgröße Objekt: 0,01 m<sup>2</sup>**





# Nachweis Laserlaufzeitmessung



Lustbühel Observatorium Graz (2012)

Laserparameter:

25 mJ, 1 kHz, 10 ns, 532 nm

85 Überflüge von 43 Objekten

$600 \text{ km} \leq r \leq 2500 \text{ km}$

RCS: 15 m<sup>2</sup> - 0,3 m<sup>2</sup>

RMS Genauigkeit: 0,3 m

**Abweichung von TLE-Bahnprognose:  
bis 5 km entlang der Bahn**

# 3-dimensionale Positionsbestimmung beim Überflug

## Kooperationspartner



DLR Institut für Technische Physik  
Stuttgart



Institut für Weltraumforschung  
Graz



Geodätisches Observatorium  
BKG / TU München



# Zusammenfassung Technologiestatus Uhlandshöhe

- Präzises Tracking auf  $< 2$  Bogensekunden genau erreicht
  - Voraussetzung für Laser Laufzeitverfahren
- Passiv-optische Ortung von katalogisierten Objekten  $< 10$  cm möglich:
  - Voreinweisung für Lasertransmitter
- Laserbasierte Ortung von Objekten mit Abmessungen von 1 m nachgewiesen
  - Bestätigung Photonenbilanz
- Implementierung fasergekoppelter Lasertransmitter
  - Modulare Erweiterung an bestehende Teleskope möglich
- Systemauslegung einer Ortungsstation für Objekte mit Abmessungen  $\sim 10$  cm



# Ausblick



**Teilnahme an Multistatik Kampagnen**



**Analyse der Bahnprognosegüte von 3D  
Positionsdaten**  
(Bahnkatalog BACARDI (GSOC DLR))



# Herzlichen Dank fürs Zuhören!

Mit freundlicher Förderung durch BAAINBw U5.3



Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik  
und Nutzung der Bundeswehr



**Bundeswehr**  
Wir. Dienen. Deutschland.

